

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

ROMAN ŠUTERA

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Kontrola vypínacích charakteristik digitální
ochrany SPAU 330 C

Supervision of Switching-off Characteristic of
Digital Protection SPAU 330 C

2016

ROMAN ŠUTERA

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Roman Šutera

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Kontrola vypínacích charakteristik digitální ochrany SPAU 330 C
Supervision of Switching-off Characteristic of Digital Protection SPAU
330 C

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrany a jištění se zaměřením na přepětíové a podpětíové ochrany.
2. Popis digitální ochrany SPAU 330 C.
3. Měření vypínacích charakteristik modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C.
4. Zhodnocení naměřených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex, Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
6. Firemní literatura a katalogy firmy ABB, s.r.o.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 29.4.2016

Podpis *Šulc*

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi, za vedení a cenné rady při vypracovávání a poskytnutí odborné literatury.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá kontrolou vypínacích charakteristik digitální ochrany SPAU 330 C. V práci je proveden teoretický rozbor ochran a jejich nastavení, popsán terminál SPAU 330 C a ochranný modul SPCU 3C14. Dále je provedena kontrola závislých a nezávislých vypínacích charakteristik ochrany. V závěru jsou zhodnoceny naměřené výsledky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Digitální ochrana, SPAU 330 C, SPCU 3C14, ochranný modul, vypínací charakteristika, podpět'ový a přepět'ový stupeň, doba působení.

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on control of tripping characteristics of digital protection SPAU 330 C. The thesis consists theoretical analysis of protections type and their settings and described terminal SPAU 330 C with protection module SPCU 3C14. Furthermore is described a check dependent and independent tripping characteristic protection. At the end of the thesis measurement results are evaluated.

KEY WORDS

Digital protection, SPAU 330 C, SPCU 3C14, protection module, switching-off characteristic, overvoltage and undervoltage stage, action time.

Obsah

Seznam některých použitých znaků a symbolů.....	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	9
Úvod.....	10
1. Teoretický rozbor ochran a jištění se zaměřením na napět'ové ochrany	11
1.1 Ochrana, chráněný objekt.....	11
1.2 Základní členy ochrany	13
1.2.1 Vstupní člen.....	13
1.2.2 Rozběhový (popudový) člen	13
1.2.3 Měřicí člen.....	14
1.2.4 Logika	14
1.2.5 Časový člen	14
1.2.6 Koncový člen.....	15
1.2.7 Napájecí člen.....	15
1.3 Poruchy	15
1.3.1 Zemní spojení.....	15
1.3.2 Zkrat	15
1.3.3 Přetížení.....	16
1.3.4 Přepětí a podpětí.....	16
1.3.5 Zpětný tok výkonu	16
1.3.6 Zvýšení a snížení kmitočtu.....	16
1.3.7 Nesouměrné zatížení	16
1.3.8 Znečištění izolace	17
1.3.9 Náhodné poruchy	17
1.4 Požadavky kladené na ochrany	17
1.4.1 Rychlost vybavení	17
1.4.2 Selektivita ochran.....	17
1.4.3 Citlivost ochran	17
1.4.4 Přesnost ochran	18
1.4.5 Odolnost	18
1.4.6 Spolehlivost.....	18
1.4.7 Snadná údržba	18

1.5	Vypínací charakteristiky	18
1.6	Rozdělení ochran.....	20
1.7	Napěťová ochrana	22
2.	Popis digitální ochrany SPAU 330 C.....	24
2.1	Charakteristické vlastnosti ochrany SPAU 330 C.....	24
2.2	Použití ochrany SPAU 330 C.....	25
2.3	Funkce ochrany SPAU 330 C	25
2.4	Charakteristické vlastnosti modulu SPCU 3C14.....	26
2.5	Funkce modulu SPCU 3C14	27
2.6	Inverzní charakteristika (charakteristika času na napětí)	28
2.7	Technické parametry	30
3.	Měření vypínacích charakteristik modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C	31
3.1	Přepětový stupeň.....	32
3.1.1	Časově nezávislá charakteristika.....	32
3.1.2	Časově závislá charakteristika A.....	35
3.1.3	Časově závislá charakteristika B.....	38
3.2	Podpětový stupeň.....	41
3.2.1	Časově nezávislá charakteristika.....	41
4.	Zhodnocení naměřených výsledků.....	43
	Závěr	44
	Použitá literatura	45

Seznam některých použitých znaků a symbolů

GND	uzemnění	
I	proud	(A)
I_{KS}	zkratový proud	
I_0	velikost proudu, při kterém spíná nadproudová ochrana	
K_C	koeficient citlivosti	
P	výkon	(W)
P_D	dovolený prostor	
P_Z	zakázaný prostor	
R	odpor	(Ω)
S	spotřeba	(W)
SG	nastavitelný spínač	
SS1	start přepět'ového stupně	
SS2	start podpět'ového stupně	
TS1	vypnutí z přepět'ového stupně	
TS2	vypnutí z podpět'ového stupně	
U	napětí	(V)
$U >$	startovací napětí přepět'ového stupně	(V)
$U <$	startovací napětí podpět'ového stupně	(V)
W	akumulovaná energie	(J)
Z_R	vstupní impedance členu	(Ω)
a	konstanta	
b	konstanta	
c	konstanta	
h_0	hranice mezi dovoleným a zakázaným prostorem	
$k >$	časový násobitel	
p	konstanta	
ss	stejnoseměrná veličina	
st	střídavá veličina	
t	doba působení	(s)
t_v	vypočítaný čas	(s)
t_m	měřený čas	(s)
t_n	nastavený čas	(s)
$v(t)$	vstup ochrany	
$y(t)$	výstup ochrany	
Δ	absolutní chyba ochrany	(s)
δ	relativní chyba ochrany	(%)

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma vazby ochrany a chráněného objektu [3].....	11
Obr. 2 Schéma chráněného objektu [3].....	12
Obr. 3 Vypínací charakteristika [2].....	19
Obr. 4 Charakteristiky napětových ochran: a) závislá, b) nezávislá, c) mžiková [5]	22
Obr. 5 Přední panel digitální ochrany SPAU 330 C [4].....	24
Obr. 6 Funkce přepětového/podpětového ochranného modulu, je-li start podpětového stupně SG1/6=1 [4].....	26
Obr. 7 Přední panel digitální ochrany SPCU 3C14 [4]	27
Obr. 8 Přepětová charakteristika A [4]	29
Obr. 9 Schéma zapojení	31
Obr. 10 Časově závislá charakteristika A	37
Obr. 11 Časově závislá charakteristika B.....	40

Seznam tabulek

Tab. 1 Volba funkcí pomocí spínače SG1 [4].....	28
Tab. 2 Výběr funkcí pomocí spínače SG1 [4].....	28
Tab. 3 Technické parametry [4]	30
Tab. 4 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 10 - 100 s	32
Tab. 5 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 1 - 10 s	33
Tab. 6 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 0,1 - 1 s	34
Tab. 7 Časově závislá charakteristika A pro $U > 90V$	35
Tab. 8 Časově závislá charakteristika A pro $U > 100V$	36
Tab. 9 Časově závislá charakteristika A pro $U > 110V$	36
Tab. 10 Hodnoty pro výpočet časově závislé charakteristiky A	36
Tab. 11 Časově závislá charakteristika A pro $U > 80V$	38
Tab. 12 Časově závislá charakteristika A pro $U > 90V$	38
Tab. 13 Časově závislá charakteristika A pro $U > 100V$	39
Tab. 14 Časově závislá charakteristika A pro $U > 110V$	39
Tab. 15 Hodnoty pro výpočet časově závislé charakteristiky B	39
Tab. 16 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 1 - 12 s	41
Tab. 17 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 10 - 120 s	42

Úvod

Elektrizační soustava je tvořena z prvků pro výrobu, transformaci, přenos, rozvod a spotřebu elektrické energie. Při provozu mohou v elektrizační soustavě vznikat různé poruchové stavy, které ohrožují bezpečnost provozu. Tyto poruchové stavy ohrožují bezpečnost provozu. Každou část elektrizační soustavy je nutno chránit elektrickými ochranami před těmito poruchovými stavy. Ochrany jsou velice důležitým prvkem elektrizační soustavy, které zajišťují provozní spolehlivost a bezpečnost určené části elektrizační soustavy. Chrání nákladné zařízení jako transformátory, generátory, vedení, motory a podobně. Využívají se ve všech částech elektrizační soustavy.

Tato bakalářská práce si klade za cíl ověřit vypínací charakteristiky a funkčnost digitální ochrany SPAU 330 C v reálném provozu.

Tato práce se v úvodu zabývá teoretickým rozbořem ochran, jejich základními členy, požadavky kladené na ochrany a základními pojmy v oboru ochran.

Druhá část bakalářské práce je zaměřena na digitální ochranu SPAU 330 C. Je zde uveden popis funkce, charakteristické parametry a vlastnosti v jaké oblasti se může ochrana používat. Následně je popsán i modul přepětíové a podpětíové ochrany SPCU 3C14.

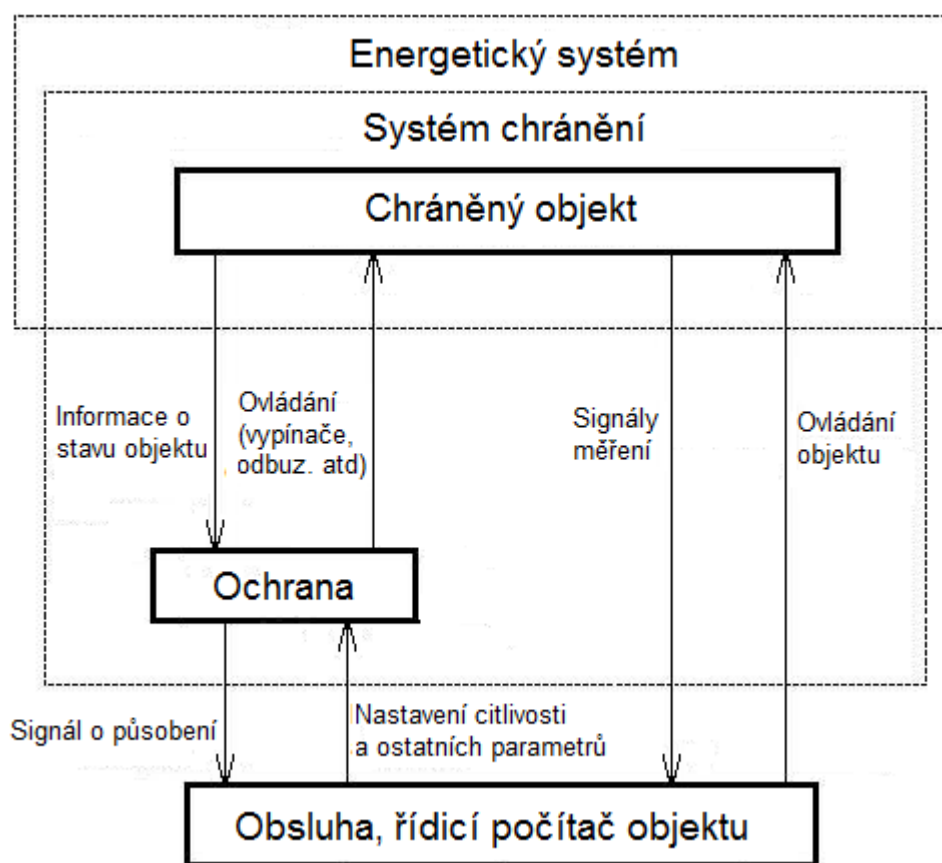
Třetí kapitola se zabývá kontrolou vypínacích charakteristik na modulu SPCU 3C14. Jsou zde uvedeny teoretické časy odpojení ochrany, jejich skutečné hodnoty, absolutní chyba ochrany, relativní chyba ochrany a grafy pro znázornění křivek vypínacích charakteristik.

V poslední čtvrté kapitole je uvedeno zhodnocení naměřených výsledků a srovnání s nominálními parametry dle výrobce, včetně závěru z toho plynoucího.

1. Teoretický rozbor ochran a jištění se zaměřením na napěťové ochrany

1.1 Ochrana, chráněný objekt

Ochrana je zařízení, které zajišťuje bezpečný a spolehlivý provoz určité částí energetického systému. Jedná se o nedílnou součást systému chránění. Ochrana musí rozlišit na základě vstupních informací a nastavených parametrů, zda je chráněný objekt v mezích normálního provozu nebo jde o poruchu. Vstupní informace o stavu jednotlivých veličin chráněného objektu se získávají přes přístrojové transformátory proudu a napětí a také z čidel měřící další stavové veličiny chráněného objektu. Při detekci poruchy uvnitř objektu ochrana předchází havárii chráněného objektu (vypnutím, odbuzením atd.) a informuje o poruchovém stavu obsluhu. Obsluha může nastavovat parametry ochrany, např. změnit citlivost nebo časové zpoždění.



Obr. 1 Schéma vazby ochrany a chráněného objektu [3]

Ochrana je připojena pomocí zpětné vazby ke chráněnému objektu. Chráněný objekt na obr. 2 je zařízení přenášející energii v rámci svého okolí. Ochrana je zodpovědná za to, aby chráněný objekt při svém provozu nepřekročil meze normálního působení. Překročení přípustných mezí znamená poškození nebo zničení chráněného objektu. [3]

1.2 Základní členy ochrany

Ochrana se tvořena z několika jednotlivých částí. Jejich počet a druh je závislý od typu ochrany.

Mezi základní části ochran patří:

- vstupní člen,
- rozběhový člen,
- měřicí člen,
- logika,
- časový člen,
- koncový člen,
- napájecí člen.

Elektrická ochrana nemusí obsahovat všechny výše uvedené členy a na konstrukci ochrany má vliv složitost algoritmu a požadované funkce, které se očekávají od ochrany. [1]

1.2.1 Vstupní člen

Převádí vstupní signál na zpracovatelný tvar a úroveň. Jmenovité vstupní napětí ochrany je obvykle 100V a jmenovitý proud může být 5A nebo 1A a 0,1A. Tyto veličiny jsou přiváděny na vstup ochrany obvykle přes přístrojové transformátory proudu a napětí. Jsou zpracovávány na úroveň voltů a miliampérů pro potřeby měřicího členu. Vstupní členy ochrany převádějí vstupní hodnoty na tyto žádané úrovně pomocí bočníků, děličů a transformátorů. Občas může mít měřicí člen stejnosměrný vstupní signál, proto potřebuje vstupní člen ještě navíc usměrňovače. Vstupní členy digitálních ochran jsou tvořeny A/D převodníky. Tyto převodníky provedou vzorkování a následné kvantování vstupního signálu, tímto se převede analogový signál na diskrétní. [1]

1.2.2 Rozběhový (popudový) člen

Při vzniku poruchy dává rozběhový člen signál měřicímu členu a logice ochrany, čím se zabezpečí působení koncového členu. Každá ochrana má rozběhový (popudový) člen. Rozběhový člen musí mít co největší citlivost na kontrolovanou veličinu, aby se zabezpečila spolehlivá činnost ochrany. Rozběhový člen má podobnou konstrukci a funkci jako měřicí člen přičemž má však vyšší citlivost. [1]

1.2.3 Měřicí člen

Měřicí člen vymezuje prostor působení ochrany. Určuje rozsah mezi dovoleným P_d a zakázaným P_z prostorem, tzv. charakteristiku h_θ . Funkci činnosti měřicího členu můžeme popsat pomocí Booleovy algebry. Charakteristika ochrany odpovídá použitému měřicímu členu (resp. principu měření).

Měřicí členy můžeme rozdělit do dvou skupin:

a) amplitudové

- nezávislý měřicí člen,
- závislý měřicí člen,
- rozdílový měřicí člen,
- součtový měřicí člen,
- amplitudový komparátor,

b) fázové

- fázový měřicí člen,
- fázový komparátor. [1]

1.2.4 Logika

Zpracovává signál z měřicího a časového členu poté logika určuje činnost koncového členu. Vstupy a výstupy logiky jsou popsány logickými jedničkami nebo nulami. Struktura logiky je sestavena pomocí logických funkcí Booleovy algebry (součin, součet a negace). Logika se realizuje pomocí klasických relé, diod, tranzistorů, integrovaných obvodů nebo technickým (hardware) a programovým (software) vybavením při digitálních ochranách. [1]

1.2.5 Časový člen

Zajišťuje úmyslné opoždění ochrany. Časový člen je ovládán signálem z logiky ochrany.

Zpoždění ochrany se vyžaduje v těchto případech:

- a) Zajištění selektivity – pomocí zpoždění ochrana umožňuje působit jiné ochraně blíže místu poruchy;
- b) Využití možné akumulace energie v objektu – zpožděním může ochrana umožnit přetížení, toto přetížení nesmí ohrozit chráněný objekt;
- c) Vyloučení chybného působení ochrany, které je způsobeno přechodnou poruchou krátkého trvání. [1]

1.2.6 Koncový člen

Tvořen elektromagnetickým relé s výkonovými kontakty. Úlohou je napájet jednu z dvou ovládacích cívek výkonového vypínače. Kontakty výstupních obvodů koncového členu musí mít dostatečně velkou proudovou zatížitelnost. [1]

1.2.7 Napájecí člen

Napájecí člen napájí jednotlivé části ochrany, které potřebují pro svou činnost pomocný napájecí zdroj. Obvody ochran mohou být napájeny těmito způsoby:

- a) Ochrany bez napájení – nepotřebují pomocný zdroj energie;
- b) Ochrany napájené z akumulátorové baterie – nejčastější způsob napájení ochran;
- c) Napájení z přístrojových transformátorů – pouze v případě kdy není možnost použít baterii;
- d) Napájení ze střídavé sítě – pro nižší spolehlivost se tento způsob nepoužívá;
- e) Napájení přes stabilizátor – hlavně pro napájení tranzistorových a číslicových ochran;
- f) Galvanické oddělení – napětí ze staniční baterie je přivedeno do střídače, transformátor zajistí galvanické oddělení obvodu, na konci napáječe je umístěn usměrňovač a stabilizátor. [1]

1.3 Poruchy

Při provozu silnoproudého elektrického rozvodu mohou nastat stavy pro provoz nebezpečné. Mohou vzniknout elektrické, tepelné i mechanické ohrožení izolace vodičů i ostatních elektrických zařízení. Také může dojít k ohrožení bezpečnosti osob, které pracují na tomto zařízení. Všechny tyto stavy jsou nežádoucí, a proto se je snažíme eliminovat pomocí ochran.

V provozu elektrických soustav/zařízení mohou nastat následující poruchy [3]:

1.3.1 Zemní spojení

Zemní spojení je galvanické spojení jedné fáze se zemí v síti, kde je izolovaný uzel, popřípadě nepřímo uzemněný uzel nebo kompenzovaný uzel. Nebezpečné je především to, že s velkou pravděpodobností může nastat následný zkrat. [5]

1.3.2 Zkrat

Zkrat je vzájemné spojení dvou nebo tří fází. Jeví se tím, že se zvýší hodnota zatěžovacího proudu na několikanásobek jmenovité hodnoty a přitom dojde k poklesu napětí, které je nepřímo úměrné elektrické vzdálenosti od místa zkratu. [5]

1.3.3 Přetížení

Proudové přetížení vzniká ve správně zapojených obvodech při připojení příliš velkého počtu spotřebičů nebo při zapojení spotřebičů s příliš velkým odběrem proudu. Rozlišujeme dva druhy přetěžování, krátkodobé a dlouhodobé. Krátkodobé přetížení není vždy nebezpečné. Rozhodujícím faktorem je teplota vodičů či jiných částí silnoprůdého rozvodu. Dlouhodobé přetěžování radíme téměř vždy mezi nebezpečné a proto je nežádoucí. Způsobuje hlavně tepelné namáhání elektrického vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení a podstatně degraduje izolace. [5]

1.3.4 Přepětí a podpětí

Přepětí (zvýšení napětí nad dovolenou mez) způsobuje rychlé stárnutí a poškození izolace, zvyšuje ztráty a roste nebezpečí zkratu.

K nadpětí může dojít například nevhodným nastavením regulačních odboček na transformátorech, náhlým odlehčením zátěže generátorů činným výkonem apod.

Při podpětí vzniká proudové přetěžování, pokud má připojené zařízení konstantní výkon.

$$i = \frac{p}{u} \quad (1.4)$$

Při podpětí dochází ke zvýšení proudu nad jmenovitou hodnotu a tím k proudovému přetížení. Podpětí může být způsobeno například nedostatečnou kompenzací, dále přetížením nebo poruchou regulace napětí. Podpětí má nepříznivý vliv na chod elektrických spotřebičů, které jsou v blízkosti poruchy. [5]

1.3.5 Zpětný tok výkonu

Zpětně výkonový článek vybaví ochranu startovacím impulzem, pokud se tok výkonu otočí směrem ke generátoru a pokud naměřená hodnota zpětného výkonu překročí hodnotu nastavenou. [5]

1.3.6 Zvýšení a snížení kmitočtu

Pokles kmitočtu je způsoben převážně přetížením zdrojů energie v síti. Efektem snížení kmitočtu je nárůst magnetizačních proudů a to vede k větším ztrátám. Při poruše regulace výkonu pak dochází ke zvýšení kmitočtu. [5]

1.3.7 Nesouměrné zatížení

Nesouměrné zatížení je stav, při kterém nejsou jednotlivé fáze statoru alternátoru/motoru zatěžovány stejným proudem. Poté vznikne zpětná složka proudu, která vytváří magnetické pole otáčející se opačným směrem a až dvojnásobnou úhlovou rychlostí rotoru. V rotoru pak dochází k indukci vířivých proudů a jejich průchodem se může rotor nebezpečně zahřívat. [5]

1.3.8 Znečištění izolace

Pokud je znečištěna izolace vodičů a rozvodného zařízení, může dojít ke zmenšení elektrické pevnosti povrchu izolace. Při vyšší vlhkosti prostředí se na povrchu znečištěných izolátorů, svorek a dalších silnoprůdových zařízeních částečně vytváří vodivá vrstva, která může vést až k přeskokům po povrchu izolace. [5]

1.3.9 Náhodné poruchy

Mezi tyto poruchy se řadí námraza, pád větve či stromu atd. Vznikají při selhání technického zařízení nebo vlivem klimatických změn. [5]

1.4 Požadavky kladené na ochrany

Elektrické ochrany jsou složité technické zařízení, které jsou důležitou součástí elektrizační soustavy. Na ochrany jsou kladeny následující požadavky. [3]

1.4.1 Rychlost vybavení

Při poruše v elektroenergetické soustavě je nutné rychlé odpojení porušené části od sítě. Rychlým odpojením se zmenší rozsah poškození a zvýší se dynamická stabilita paralelní spolupráce synchronních strojů. Rychlost reakce nejrychlejších ochrany je 0,02 až 0,04 s. K tomuto času je třeba připočítat vypínací dobu výkonových vypínačů, která se pohybuje v rozmezí od 0,05 až 0,06 s.

Při některých situacích vyžadujeme, aby pro vypínání nebo signalizaci poruchového stavu byl okamžik časově opožděn. Poté hovoříme o tzv. záložní funkci ochrany při krátkodobých provozních přetíženích, a méně nebezpečných poruchových stavech. [2]

1.4.2 Selektivita ochrany

Schopnost ochrany vypnout pouze poškozenou část od sítě tak, aby pokud možno co největší část nepoškozené sítě zůstala v provozu. Selektivitu dosahujeme postupným časovým odstupňováním působení ochrany nebo vysláním blokovacích impulsů. [2]

1.4.3 Citlivost ochrany

Citlivost ochrany je schopnost reagovat na poruchy, které se vyskytují v chráněném pásmu, na něž je ochrana navržena. Veličina, od které má ochrana reagovat musí být nižší než hodnota poruchové veličiny. [2]

Udává v poměrných hodnotách. Koeficient citlivosti:

$$K_c = \frac{I_{ks}}{I_0} \quad (1.5)$$

Kde I_{ks} – Zkratový proud v místě instalace ochrany

I_0 – Velikost proudu při kterém spíná nadproudová ochrana.

1.4.4 Přesnost ochran

Přesnost ochrany je poměrná chyba citlivosti udávaná v procentech. Když je vyšší přesnost, potom je větší kvalita ochrany. [3]

Je dána tímto vztahem:

$$p = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1.6)$$

Kde p – relativní chyba ochrany,

x – nastavení citlivosti ochrany,

x_a – rozsah tříditelnosti ochrany,

x_b – skutečná citlivost ochrany.

1.4.5 Odolnost

Odolnost ochrany proti různým rušení je také důležitá, protože při energetickém provozu se vyskytuje mnoho vlivů, které ochranu mohou poškodit. Mezi tyto vlivy patří: prašné prostředí, agresivní plyny v ovzduší, vibrace, magnetická a elektrická pole při zkratech. [3]

1.4.6 Spolehlivost

Ochrany chrání jak důležité zařízení, tak i chod celé soustavy. Proto klademe důraz na její spolehlivost. Ochrany jsou nejčastěji pasivní a reagují pouze při poruše, proto je nutné periodicky kontrolovat jejich funkci. Jednoduchá ochrana má také menší pravděpodobnost poruchy a selhání než ochrana složitá. [3]

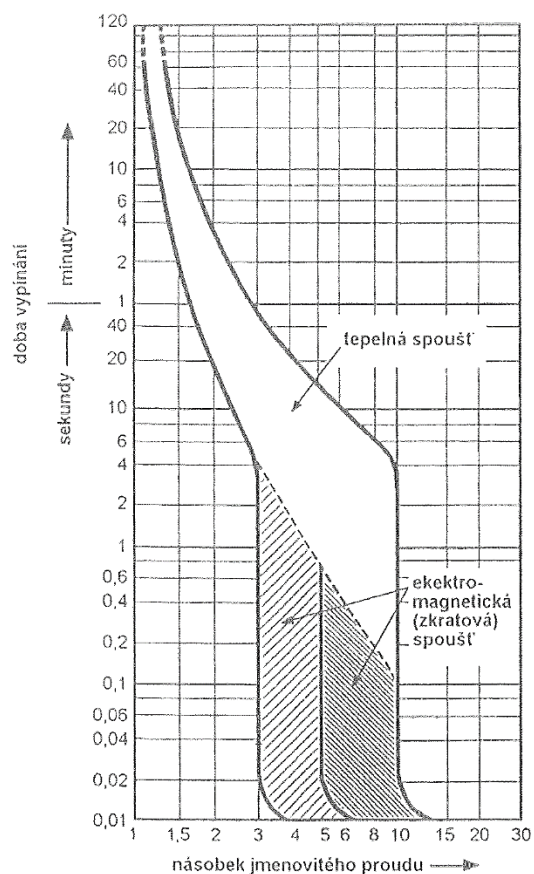
1.4.7 Snadná údržba

Spolehlivost ochrany můžeme zvýšit, když budeme provádět periodické revize, při nichž jsou ochrany kontrolovány. Proto je nutná snadná údržba. Poškozená ochrana je při revizi vyměněna za novou. [2]

1.5 Vypínací charakteristiky

Důležitým způsobem vyjádření vlastností jisticích prvků z hlediska jištění před nadproudy, případně možného selektivního působení v určitém proudovém rozsahu, jsou jejich vypínací charakteristiky,

někdy také nazývané jako “charakteristiky čas – proud”, případně také “ampérsekundové charakteristiky”. Tyto charakteristiky vystihují chování jistícího prvku v závislosti na velikosti působících nadproudů. Konkrétně udávají, za jak dlouho jistící prvek vypne, prochází-li jím určitý proud konstantní velikosti. Udávají se formou tabulky nebo pro větší názornost a snadnější odečítání se vyjadřují graficky v pravouhlých souřadnicích. Osy mají logaritmické stupnice. [2]



Obr. 3 Vypínací charakteristika [2]

1.6 Rozdělení ochran

Ochrany můžeme rozdělit hned z několika hledisek [3] [5]:

- a) Podle typu chráněného objektu:
 - generátoru
 - motoru
 - transformátoru
 - přípojníc
 - vedení
 - speciální případy (troleje, vypínače a lokomotivní)
- b) Podle druhu poruchy:
 - zkratové
 - při přetížení
 - podpěrové
 - nadpět'ové
 - podkmitočtové
 - nadkmitočtové
 - při zemním spojení
 - při zpětném toku výkonu
 - při ztrátě buzení
 - při nesouměrnosti
- c) Podle funkčního principu:
 - proudové
 - napět'ové
 - distanční
 - rozdílové
 - srovnávací
 - wattové
 - jalové
 - kmitočtové
 - při nesouměrnosti
- d) Podle doby působení:
 - mžikové
 - časově nezávislé
 - časově závislé

e) Podle konstrukce:

- **elektromechanické**

Jde se o skupinu nejstarších analogových ochran. Jsou sestaveny z elektromagnetických relé, které mechanicky i elektricky spolupracují. Jejich jednotlivé části jsou pohyblivé. Každá část těchto ochran vykonává pouze jednu funkci.

- **elektronické**

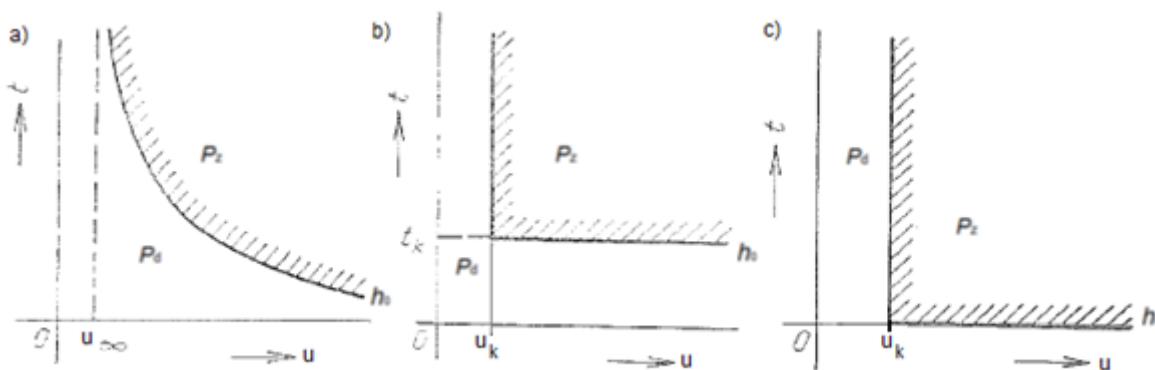
Jsou sestaveny z polovodičů a integrovaných obvodů. Informace o velikosti zpracovávaných hodnot je zobrazena spojitě úrovní některé elektrické veličiny. Tento druh ochran nemá pohyblivé části. Oproti elektromechanickým ochranám mají několik výhod. Mezi ně patří kratší operační čas, vyšší přesnost, menší požadavky na údržbu, realizace složitějších algoritmů, nižší vlastní spotřeba, delší životnost a jejich charakteristiku lze přizpůsobit k potřebám chráněnému objektu. Nevýhodou je nízká odolnost polovodičových součástek proti indukovaným napětím a potřeba tepelné stabilizace elektronických obvodů.

- **digitální**

Digitální ochrany jsou sestaveny z číslicových (digitálních) obvodů. Informace o velikosti zpracovávaných hodnot je zobrazena pomocí diskretních hodnot (logické nuly a jedničky). Postupem času se zdokonalují a jsou cenově dostupnější. Umožňují vykonávat složitější a delší úkoly. Mají větší přesnost, dokonalejší selektivitu, lepší zpracování vstupních hodnot a především uživatelský komfort.

1.7 Napět'ová ochrana

Napět'ové ochrany mohou být časově závislé, nezávislé a mžikové. Mžiková ochrana reaguje ihned při vzniku poruchy, rychlost je závislá pouze na času zpracování informace. Dnešní mžikové ochrany mají vypínací čas okolo 10 ms. U nezávislých ochran je předem definována doba působení. Doba působení není závislá na velikosti napětí. U závislých ochran, je doba působení závislá na velikosti měřeného napětí tzn. při vyšším napětí je kratší doba vypnutí.



Obr. 4 Charakteristiky napět'ových ochran: a) závislá, b) nezávislá, c) mžiková [5]

Přitom se ještě ochrany se dělí na nadpět'ové a podpět'ové. Nadpět'ové ochrany působí při zvýšení napětí, pracují nad charakteristikou h_0 (viz. obr. 4). Podpět'ové ochrany reagují při poklesu napětí, pracují pod charakteristikou h_0 .

Napět'ové ochrany jsou konstrukčně shodné jako ochrany proudové. Odlišnost je v impedanci měřicího článku. Realizace měřicího členu je pomocí závislého měřicího členu nebo nezávislého měřicího členu. Podle tohoto může být zvoleno měřicí relé.

Podle základního vztahu jde o úměrné vstupní veličiny

$$U = Z_R \cdot I \quad (1.7)$$

Kde Z_R je vstupní impedance členu.

Vztahy pro spotřebu ochrany:

$$S = \frac{U^2}{Z_R} \quad (1.8)$$

Vstupní impedanci se volí u napět'ových ochran velká. Protože se zmenšuje spotřeba ochrany a nároky na přístrojové transformátory. Při poškození objektu dochází, jestliže se nahromadí více energie, než je možné. K nahromadění energie dochází při poruchách.

Energetický charakter napěťové ochrany je definován jako:

$$W = \int_0^T \frac{1}{R} \cdot u^2(t) dt \quad (1.9)$$

Kde W – akumulovaná energie

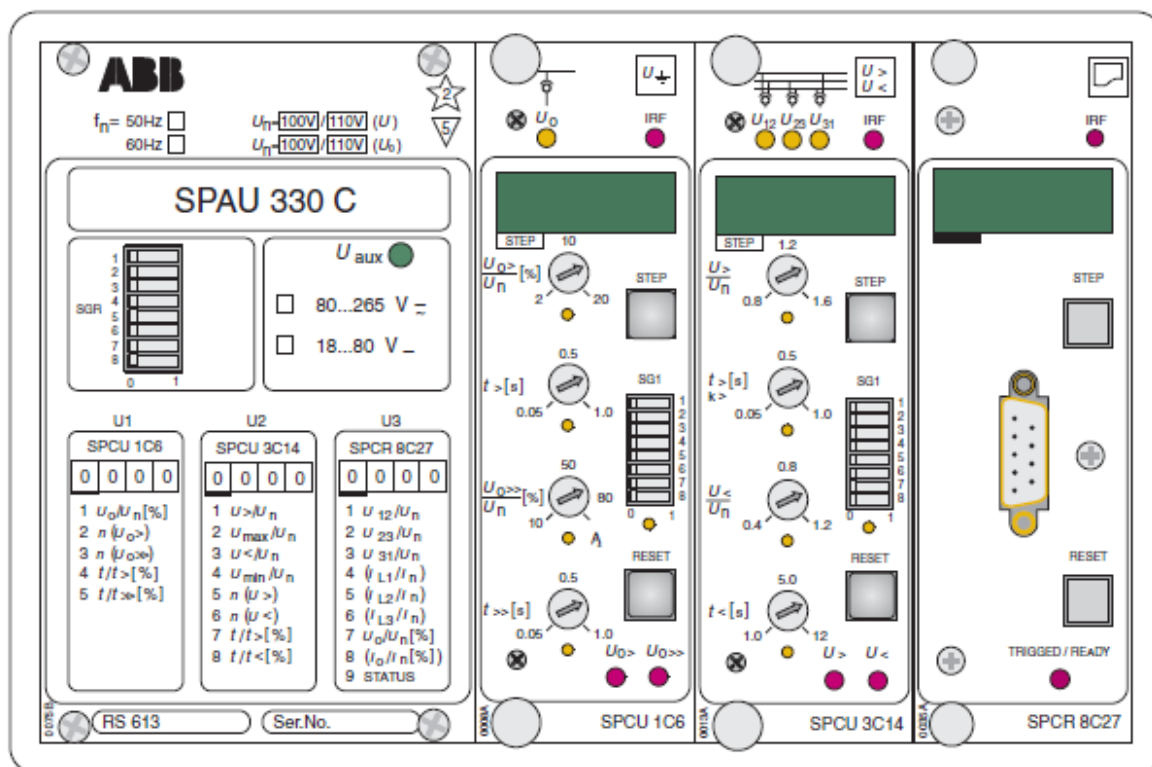
T – doba trvání poruchy

R – odpor objektu

Napěťové ochrany se využívají jako podpěťové (blokování proudových ochran, ochran při přetížení podpětím) a nadpěťové (ochrana izolace). [3]

2. Popis digitální ochrany SPAU 330 C

Digitální ochrana SPAA 330 C je vybavena třemi moduly. Používá se, pro selektivní chránění při zkratech a zemních poruchách.



Obr. 5 Přední panel digitální ochrany SPAU 330 C [4]

2.1 Charakteristické vlastnosti ochrany SPAU 330 C

Digitální ochrana SPAU 330 C je přepět'ová ochrana, která chrání objekt, přepět'ovou a podpět'ovou kontrolou. Obsahuje ochranné relé určené pro měření a kontrolu napětí přípojnice rozvodny. Číselný displej slouží pro zobrazování hodnot nastavení, měřených napětí a zobrazení zaznamenaných poruch. Ochrana umožňuje obousměrnou datovou komunikaci se zařízeními na úrovni rozvodny prostřednictvím sériového rozhraní. Tento model vy vybavený výkonným softwarem pro nastavení a monitorování ochrany pomocí přenosného počítače. Ochrana je také vybavena autodiagnostikou, která nepřetržitě kontroluje stav jak po hardwarové stránce ochrany, tak i po stránce softwarové. Cílem je zabezpečení vysoké spolehlivosti a pohotovosti systému. Ochrana je velice odolná vůči elektrickému a elektromagnetickému rušení. [4]

2.2 Použití ochrany SPAU 330 C

Přepět'ová, podpět'ová ochrana a ochrana proti zbytkovému napětí SPAU 330C je určena pro kontrolu a zaznamenávání zbytkového napětí a sdružených napětí v přípojniovém systému. Ochrana vytváří integrovanou ochrannou soustavu, kterou tvoří dva měřicí ochranné moduly a jeden modul pro záznam poruch. Zbytkové napětí soustavy je měřeno pomocí dvoustupňového přepět'ového ochranného modulu SPCU 1C6. Sdružená napětí jsou kontrolována třífázovým přepět'ovým a podpět'ovým ochranným modulem SPCU 3C14. Tuto sestavu je možno doplnit modulem poruchového zapisovače typu SPCR 8C27, který umožňuje zaznamenávat ochranou naměřená napětí a podmínky, za nichž došlo ke startu jednotlivých ochranných modulů a stupňů. Prostřednictvím přídavného modulu pro připojení ke sběrnici může být ochrana připojena ke sběrnici SPA pro sériovou komunikaci se zařízeními na úrovni rozvodny. [4]

2.3 Funkce ochrany SPAU 330 C

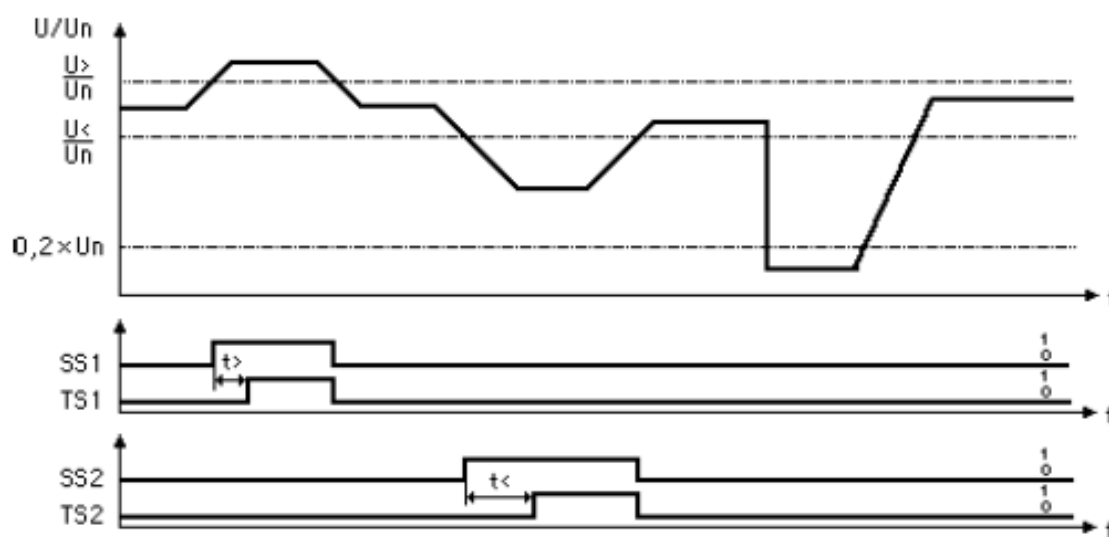
Poté, co zbytkové napětí přípojnice soustavy překročí nastavenou hodnotu stupně nízkého nastavení modulu zbytkového napětí SPCU 1C6, přepět'ový stupeň se aktivuje a současně se spustí příslušný časovací obvod. Po uplynutí doby časovacího obvodu, modul vyše vypínací signál do výstupních relé. Stejným způsobem funguje i stupeň vysokého nastavení zbytkového napětí. Při překročení nastavené hodnoty na tomto stupni, je stupeň spuštěn a zároveň je spuštěn časovací obvod, který po uplynutí nastaveného operačního času vykoná vypnutí obvodu.

Poté, co jedno z měřených napětí ochranným modulem SPCU 3C14 překročí nastavenou hodnotu přepět'ového stupně, tento stupeň odstartuje a po uplynutí nastaveného operačního času provede vypnutí obvodu. A v opačném případě, když dojde k poklesu jednoho z napětí pod nastavenou hodnotu podpět'ového stupně, dochází ke spuštění časovacího obvodu podpět'ového stupně. Po uplynutí nastavené doby tohoto obvodu provede podpět'ový stupeň vypnutí.

K zamezení nežádoucích operací během sekvence automatického opětovného zapnutí, mohou být starty a vypínání z podpět'ového stupně modulu SPCU 3C14 blokovány nastavením spínače SG1/6. Ten je možno nastavit na předním panelu tohoto modulu do polohy 1. Tímto vyloučíme jakoukoliv operaci stupně $U < U_n$ v situaci, že měřené napětí klesne pod hodnotu $0,2 \times U_n$.

Vypínání ze samotného podpět'ového stupně můžeme blokovat pomocí přivedení vnějšího blokovacího napětí na ochranu.

Při objevení poruchy modul poruchového zapisovače SPCR 8C27 zaznamená průběh zbytkového napětí, sdruženého napětí a také starty jednotlivých ochranných modulů. Ke spuštění tohoto záznamového modulu dojde po splnění přednastavených podmínek. Záznamové data jsou přístupná přes sériový port RS 232 C nebo přes rozhraní SPA sběrnice. [4]

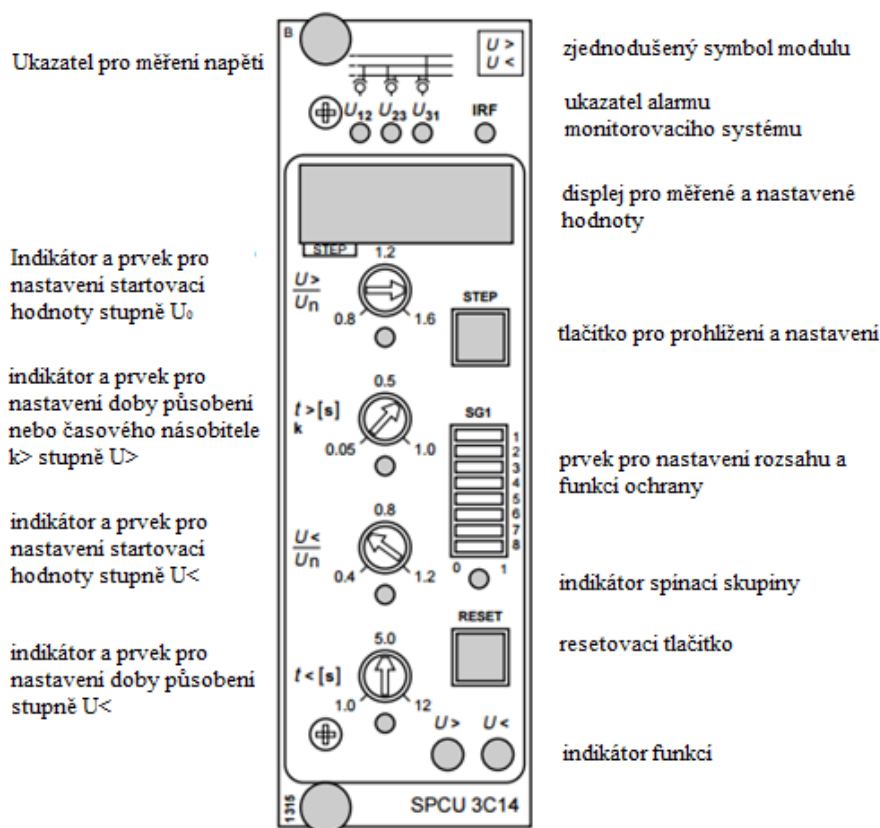


Obr. 6 Funkce přepětového/podpětového ochranného modulu, je-li start podpětového stupně SG1/6=1 [4]

Kde	$U>/U_n$	Nastavení přepětového stupně,
	$U</U_n$	Nastavení podpětového stupně,
	SS1	Start přepětového stupně,
	TS1	Vypnutí z přepětového stupně,
	SS2	Start podpětového stupně,
	TS2	Vypnutí z podpětového stupně.

2.4 Charakteristické vlastnosti modulu SPCU 3C14

Tento ochranný modul je primárně určený pro měření třífázového napětí, ale lze také po naprogramování být použit pro jednofázové úlohy. Charakteristika přepětového členu může být časově závislá nebo nezávislá. Při režimu s časově závislou charakteristikou si můžeme zvolit dvě skupiny křivek, které jsou v závislosti čas/napětí. Modul disponuje digitálním displejem pro zobrazení naměřených hodnot, nastavených hodnot a zaznamenaných poruchových hodnot. Na úrovni rozvodny je modul ochrany schopen sériově komunikovat se zařízeními za účelem výměny dat. Hardware a software je neustále monitorován a tím dochází k zajištění velké spolehlivosti a použitelnosti. Pokud vznikne trvalá vnitřní závada, modul ochrany začne vytvářet autodiagnostické kódy závad. [4]



Obr. 7 Přední panel digitální ochrany SPCU 3C14 [4]

2.5 Funkce modulu SPCU 3C14

Třífázový ochranný modul SPCU 3S14 po naprogramování pomocí spínače SG1/1 může sloužit i pro jednofázové aplikace. Modul obsahuje jak podpětový, tak i přepětový stupeň. Provozní režim podpětového stupně pracuje jen s časově nezávislou charakteristikou, ale za to přepětový stupeň pracuje jak s časově závislou tak i časově nezávislou charakteristikou.

Pokud jedno z měřených napětí přesáhne nastavenou startovací hodnotu stupně $U >$, modul poté po uplynutí nastaveného startovacího času vygeneruje startovací signál SS1. Pomocí spínače SG1/2 lze navolit startovací čas tohoto stupně. Lze nastavit dvě odlišné hodnoty startovacího signálu. První z nich odpovídá době působení $t >$, druhá závisí na úrovni přepětí (u časově závislých charakteristik).

Po uplynutí dané doby přepětový stupeň vygeneruje vypínací signál TS1. Spínačem SG1/3 nastavíme pracovní charakteristiku stupně $U >$.

Pro časově nezávislou charakteristiku lze navolit rozsah doby působení pomocí spínačů SG1/4 a SG1/5. Při časově závislé charakteristice nastavujeme rozsah doby působení spínačem SG1/4.

Nastavitelné jsou dvě charakteristiky, které značíme A a B.

Pokud u jednoho modulu měřené napětí klesne pod navolenou startovací hodnotu stupně $U<$, poté ochranný modul po uběhnutí nastaveného startovacího času vygeneruje startovací signál SS2. Pomocí spínače SG1/7 nastavíme startovací dobu tohoto stupně.

Při uplynutí nastavené doby $t <$ podpětový stupeň vygeneruje vypínací signál TS2. Spínačem SG1/8 určíme délku doby působení. V případě, že potřebujeme blokovat startování a působení podpětového stupně je třeba přepnutí spínače SG1/6 do polohy 1. Blokovací funkce se spustí, pokud měřený signál poklesne pod hodnotu $0,2 \times U_n$. [4]

Tab. 1 Volba funkcí pomocí spínače SG1 [4]

SG1/1 = 0	třífázový režim
SG1/1 = 1	jednofázový režim
SG1/2 = 0	volba startovacího času přepětového stupně
SG1/3 = 0	časově nezávislý režim přepětového stupně
SG1/3 = 1	časově závislý režim podle dvou charakteristik
SG1/6 = 1	volba automatického blokování podpětového stupně
SG1/7 = 0	volba startovacího času podpětového stupně
SG1/8 = 0	rozsah doby působení podpětového stupně $1 \div 12$ s
SG1/8 = 1	rozsah doby působení podpětového stupně $10 \div 120$ s

Tab. 2 Výběr funkcí pomocí spínače SG1 [4]

SG1/3	SG1/4	SG1/5	Provozní režim	Doba působení $t >$ nebo křivka charakteristiky
0	0	0	časově nezávislý	$0,05 \div 1$ s
0	0	1	časově nezávislý	$0,5 \div 10$ s
0	1	1	časově nezávislý	$5 \div 100$ s
1	0	0	časově závislý	charakteristika A
1	1	0	časově závislý	charakteristika B

2.6 Inverzní charakteristika (charakteristika času na napětí)

Čím kratší doba působení přepětového stupně tím bude větší odchylka od nastavené hodnoty

při časově závislé charakteristice. Při nastavení spínače SG1/3 do polohy 1 tak bude stupeň $U>$ pracovat s časově závislou charakteristikou.

Závislost mezi časem a napětím v časově závislé charakteristice je následující:

$$t = \frac{k > a}{\left(b \cdot \frac{U - U>}{U>} - 0,5\right)^p} + c \quad (2.1)$$

kde t doba působení (s),

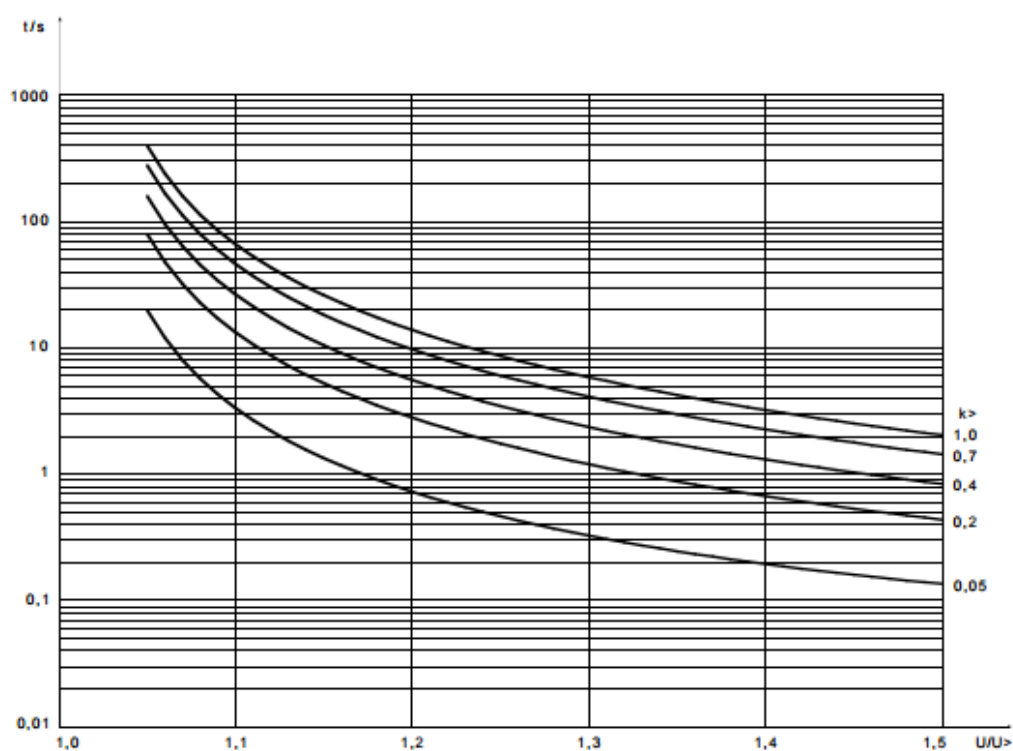
a konstanta 480,

b konstanta 32,

- c konstanta 0,03,
 $k >$ časový násobitel,
 U naměřené napětí (V),
 $U >$ nastavené startovací napětí (V),
 p konstanta, $p = 2$ pro charakteristika A,
 $p = 3$ pro charakteristika B.

Záznam doby působení přepětíového stupně se spustí, když napětí překročí nastavenou hodnotu o 6 % při časově závislém funkčním režimu. Přesnost uvedená v technických údajích platí, pokud je nastavené napětí překročeno do 10 %. Přepětíový stupeň nabízí volbu mezi dvěma charakteristikami s odlišnými inverzemi. Pomocí programovacího spínače SG1/4 lze nastavit danou charakteristiku.

Stupeň inverzní charakteristiky je určen hodnotou p . [4]



Obr. 8 Přepětíová charakteristika A [4]

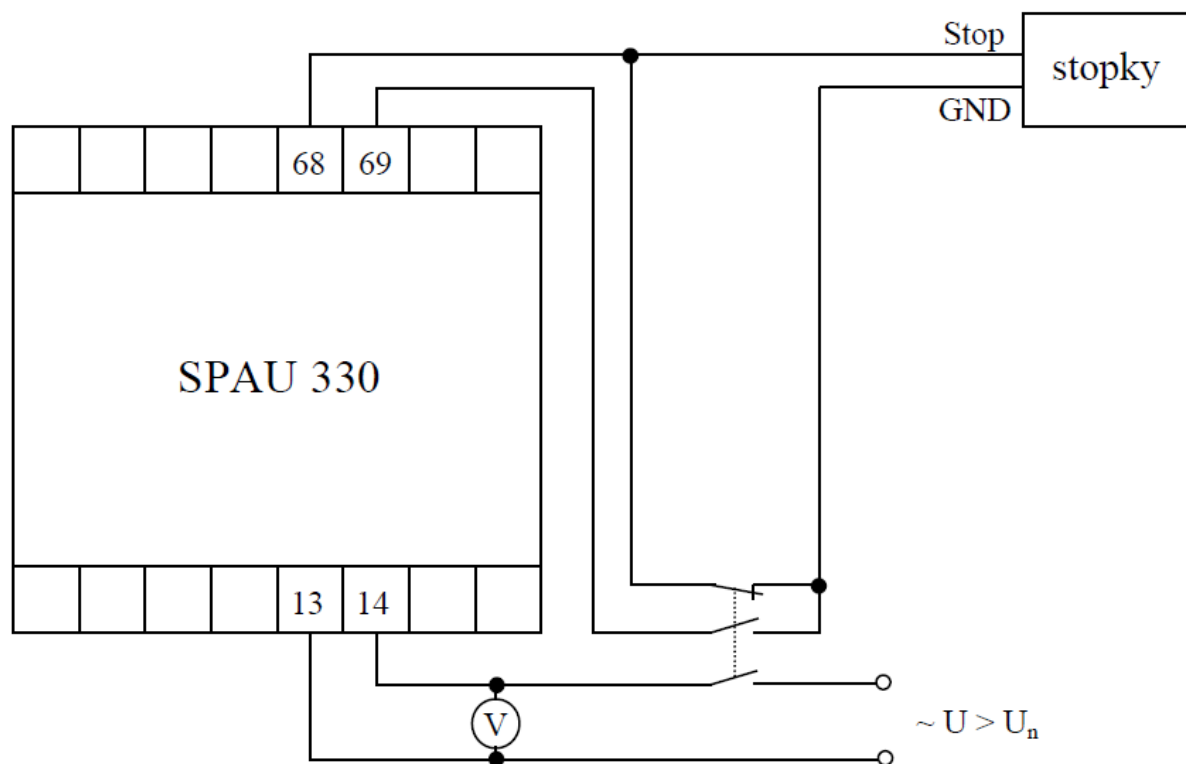
2.7 Technické parametry

Tab. 3 Technické parametry [4]

Jmenovité napětí:	100 V
Jmenovitá frekvence:	50 Hz
Pomocné napájecí napětí:	80 ÷ 265 V st / 18 ÷ 256 V ss
Přepět'ový stupeň $U >$	
Startovací napětí:	0,8 ÷ 1,6 x U_n
Startovací čas:	0,1 ÷ 30 s
Doba působení:	0,05 ÷ 100 s
Časový násobitel:	0,05 ÷ 1
Přidržený poměr:	0,97
Přesnost doby působení:	± 2 % nastavené hodnoty nebo ± 25 ms
Provozní přesnost:	± 3 % nastavené hodnoty
Podpět'ový stupeň $U <$	
Startovací napětí:	0,4 ÷ 1,2 x U_n
Startovací čas:	0,1 ÷ 30 s
Doba působení:	1 ÷ 120 s
Přidržený poměr:	1,03
Přesnost doby působení:	± 2 % nastavené hodnoty nebo ± 25 ms
Provozní přesnost:	± 3 % nastavené hodnoty

3. Měření vypínacích charakteristik modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C

Schéma zapojení:



Obr. 9 Schéma zapojení

Použité měřicí přístroje:

Universální měřicí přístroj Mastech MY68

Stopky

Stykač

3.1 Přepět'ový stupeň

3.1.1 Časově nezávislá charakteristika

Tab. 4 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 10 - 100 s

U	t_n	t_m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
140	10,00	10,01	0,01	0,10
140	20,00	20,03	0,03	0,15
140	30,00	30,08	0,08	0,27
140	40,00	40,22	0,22	0,55
140	50,00	50,35	0,35	0,70
140	60,00	60,48	0,48	0,80
140	70,00	70,69	0,69	0,99
140	80,00	81,28	1,28	1,60
140	90,00	91,60	1,60	1,78
140	100,00	102,15	2,15	2,15

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_n - t_m| = |10 - 10,01| = 0,01 \text{ s} \quad (3.1)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_n} \cdot 100 = \frac{0,01}{10} \cdot 100 = 0,10 \% \quad (3.2)$$

Tab. 5 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 1 - 10 s

U	t _n	t _m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
140	1,00	1,01	0,01	1,00
140	2,00	2,02	0,02	1,00
140	3,00	3,03	0,03	1,00
140	4,00	4,04	0,04	1,00
140	5,00	5,06	0,06	1,20
140	6,00	6,08	0,08	1,33
140	7,00	7,11	0,11	1,57
140	8,00	8,13	0,13	1,63
140	9,00	9,15	0,15	1,67
140	10,00	10,21	0,21	2,10

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_n - t_m| = |1 - 1,01| = 0,01 \text{ s} \quad (3.3)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_n} \cdot 100 = \frac{0,01}{1} \cdot 100 = 1 \% \quad (3.4)$$

Tab. 6 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 0,1 - 1 s

U	t _n	t _m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
140	0,10	0,10	0,00	0,00
140	0,20	0,20	0,00	0,00
140	0,30	0,30	0,00	0,00
140	0,40	0,40	0,00	0,00
140	0,50	0,50	0,00	0,00
140	0,60	0,60	0,00	0,00
140	0,70	0,70	0,00	0,00
140	0,80	0,81	0,01	1,25
140	0,90	0,91	0,01	1,11
140	1,00	1,01	0,01	1,00

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_n - t_m| = |0,10 - 0,10| = 0 \text{ s} \quad (3.5)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_n} \cdot 100 = \frac{0}{0,10} \cdot 100 = 0 \% \quad (3.6)$$

3.1.2 Časově závislá charakteristika A

Tab. 1 Časově závislá charakteristika A pro $U > 80V$

Časově závislá charakteristika A pro $U > 80V$				
U	t_v	t_m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
90	39,21	39,98	0,77	1,95
95	15,90	16,19	0,29	1,84
100	8,56	8,69	0,13	1,48
105	5,35	5,41	0,06	1,15
110	3,66	3,69	0,03	0,83
115	2,66	2,68	0,02	0,61
120	2,03	2,04	0,01	0,35
125	1,60	1,60	0,00	0,29
130	1,29	1,29	0,00	0,05

Tab. 7 Časově závislá charakteristika A pro $U > 90V$

Časově závislá charakteristika A pro $U > 90V$				
U	t_v	t_m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
100	51,44	52,45	1,01	1,96
105	20,58	20,95	0,37	1,81
110	11,01	11,18	0,17	1,52
115	6,85	6,94	0,09	1,30
120	4,67	4,72	0,05	0,99
125	3,39	3,42	0,03	0,75
130	2,58	2,59	0,01	0,58
135	2,03	2,03	0,00	0,10
140	1,64	1,64	0,00	0,07

Tab. 8 Časově závislá charakteristika A pro $U > 100V$

Časově závislá charakteristika A pro $U > 100V$				
U	t_v	t_m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
110	65,87	67,20	1,33	2,01
115	25,99	26,48	0,49	1,89
120	13,82	14,02	0,20	1,45
125	8,56	8,67	0,11	1,25
130	5,83	5,88	0,05	0,92
135	4,22	4,25	0,03	0,65
140	3,20	3,21	0,01	0,23
145	2,51	2,52	0,01	0,22
150	2,03	2,03	0,00	0,10

Tab. 9 Časově závislá charakteristika A pro $U > 110V$

Časově závislá charakteristika A pro $U > 110V$				
U	t_v	t_m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
120	82,74	84,41	1,67	2,02
125	32,19	32,82	0,63	1,97
130	17,00	17,30	0,30	1,76
135	10,49	10,63	0,14	1,29
140	7,12	7,20	0,08	1,10
145	5,15	5,20	0,05	0,96
150	3,90	3,93	0,03	0,76
155	3,06	3,07	0,01	0,40
160	2,46	2,47	0,01	0,28

Tab. 10 Hodnoty pro výpočet časově závislé charakteristiky A

k>	a	b	c	p
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1	480	32	0,03	2

Příklad výpočtu:

Vypočítaný vypínací čas:

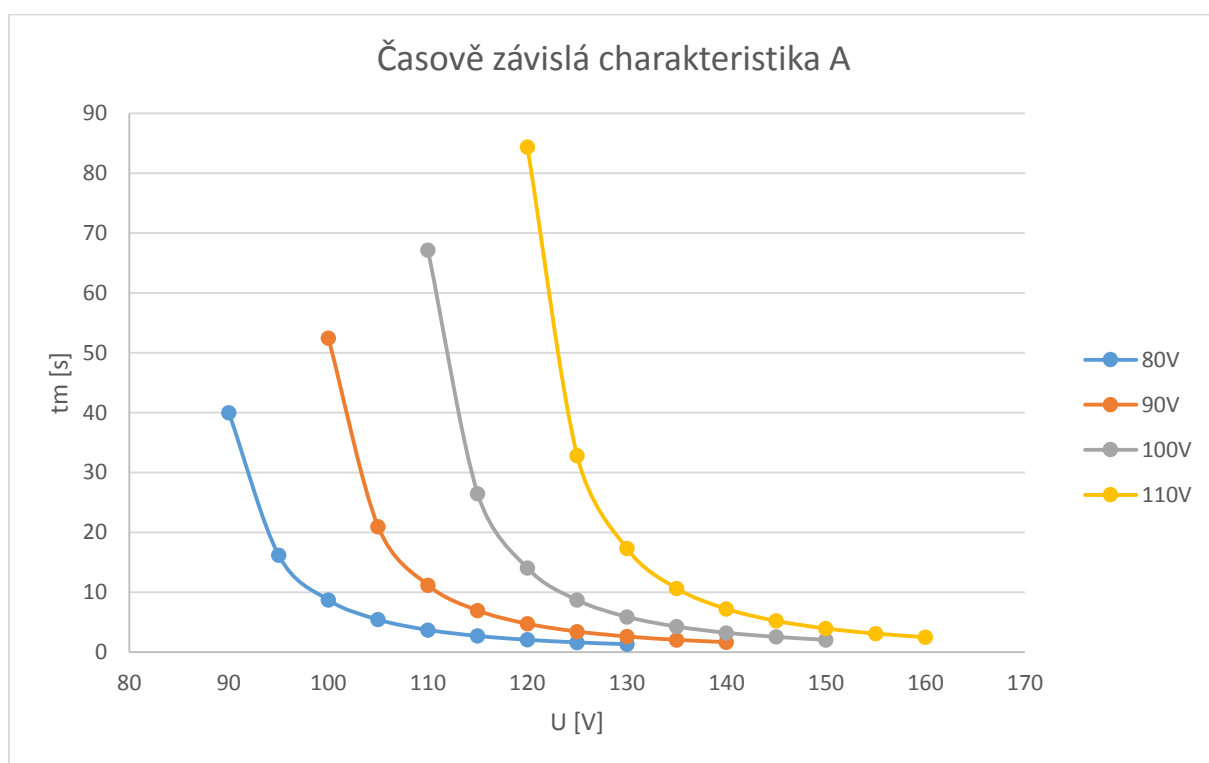
$$t_v = \frac{k \cdot a}{\left(b \cdot \frac{U - U_{>}}{U_{>}} - 0,5\right)^p} + c = \frac{1 \cdot 480}{\left(32 \cdot \frac{110 - 100}{100} - 0,5\right)^2} + 0,03 = 39,21 \text{ s} \quad (3.7)$$

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_v - t_m| = |39,21 - 39,98| = 0,77 \text{ s} \quad (3.8)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_v} \cdot 100 = \frac{0,77}{39,21} \cdot 100 = 1,95 \% \quad (3.9)$$



Obr. 10 Časově závislá charakteristika A

3.1.3 Časově závislá charakteristika B

Tab. 11 Časově závislá charakteristika A pro $U > 80V$

Časově závislá charakteristika A pro $U > 80V$				
U	t_v	t_m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
90	11,23	11,43	0,20	1,82
95	2,92	2,96	0,04	1,54
100	1,17	1,18	0,01	1,05
105	0,59	0,60	0,01	0,87
110	0,35	0,35	0,00	0,55
115	0,23	0,23	0,00	0,40
120	0,16	0,16	0,00	0,38
125	0,12	0,12	0,00	0,20
130	0,09	0,09	0,00	0,07

Tab. 12 Časově závislá charakteristika A pro $U > 90V$

Časově závislá charakteristika A pro $U > 90V$				
U	t_v	t_m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
100	16,86	17,18	0,32	1,92
105	4,28	4,35	0,07	1,66
110	1,69	1,71	0,02	1,17
115	0,84	0,85	0,01	0,94
120	0,49	0,49	0,00	0,66
125	0,31	0,31	0,00	0,43
130	0,22	0,22	0,00	0,39
135	0,16	0,16	0,00	0,19
140	0,12	0,12	0,00	0,07

Tab. 13 Časově závislá charakteristika A pro $U > 100V$

Časově závislá charakteristika A pro $U > 100V$				
U	t_v	t_m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
110	24,42	24,90	0,48	1,98
115	6,07	6,18	0,11	1,78
120	2,37	2,40	0,03	1,30
125	1,17	1,18	0,01	1,05
130	0,67	0,67	0,01	0,75
135	0,42	0,42	0,00	0,52
140	0,29	0,29	0,00	0,44
145	0,21	0,21	0,00	0,23
150	0,16	0,16	0,00	0,13

Tab. 14 Časově závislá charakteristika A pro $U > 110V$

Časově závislá charakteristika A pro $U > 110V$				
U	t_v	t_m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
120	34,36	35,05	0,69	2,01
125	8,35	8,51	0,15	1,83
130	3,22	3,27	0,05	1,52
135	1,58	1,59	0,02	1,20
140	0,89	0,90	0,01	0,90
145	0,56	0,56	0,00	0,73
150	0,38	0,38	0,00	0,60
155	0,27	0,27	0,00	0,38
160	0,20	0,20	0,00	0,13

Tab. 15 Hodnoty pro výpočet časově závislé charakteristiky B

$k >$	a	b	c	p
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1	480	32	0,03	3

Příklad výpočtu:

Vypočítaný vypínací čas:

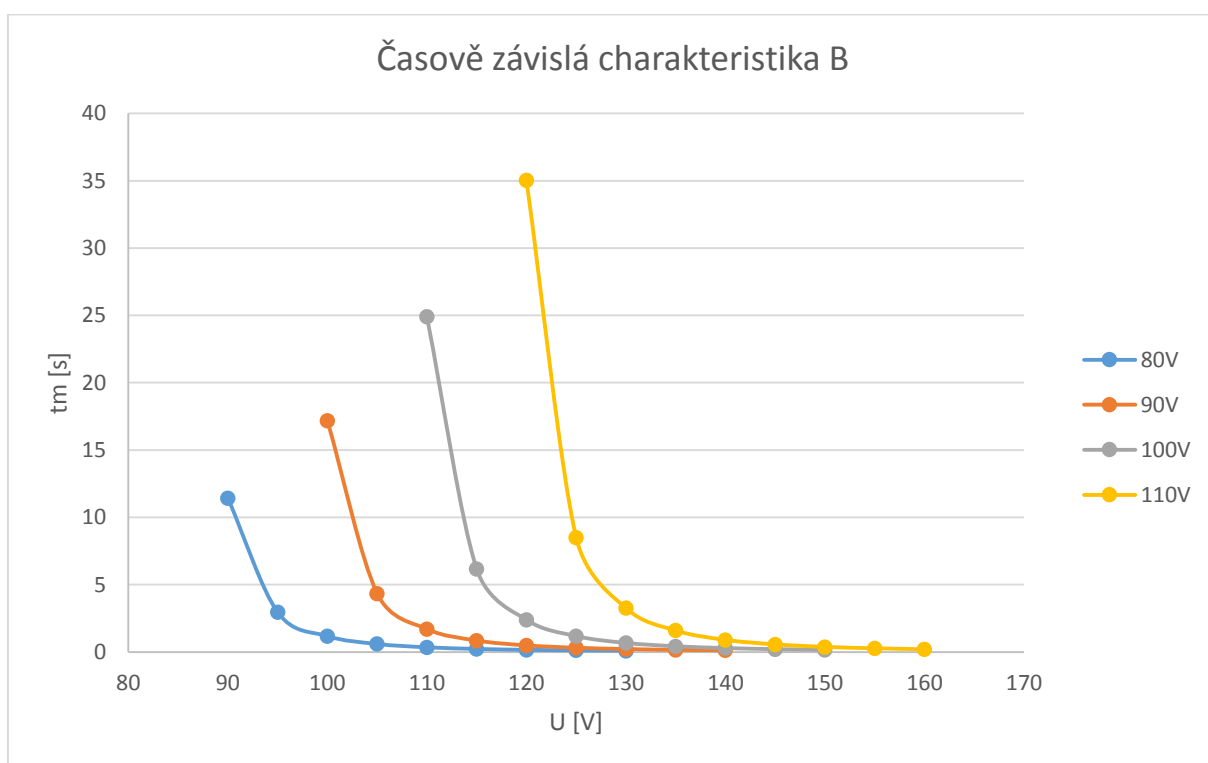
$$t_v = \frac{k \cdot a}{\left(b \cdot \frac{U - U_{>}}{U_{>}} - 0,5\right)^p} + c = \frac{1 \cdot 480}{\left(32 \cdot \frac{110 - 100}{100} - 0,5\right)^3} + 0,03 = 11,23 \text{ s} \quad (3.10)$$

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_v - t_m| = |11,23 - 11,43| = 0,2 \text{ s} \quad (3.11)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_v} \cdot 100 = \frac{0,2}{11,23} \cdot 100 = 1,82 \% \quad (3.12)$$



Obr. 11 Časově závislá charakteristika B

3.2 Podpět'ový stupeň

3.2.1 Časově nezávislá charakteristika

Tab. 16 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 1 - 12 s

U	t _n	t _m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
80	1,00	1,00	0,00	0,00
80	2,00	2,00	0,00	0,00
80	3,00	3,02	0,02	0,67
80	4,00	4,04	0,04	1,00
80	5,00	5,06	0,06	1,20
80	6,00	6,07	0,07	1,17
80	7,00	7,09	0,09	1,29
80	8,00	8,11	0,11	1,37
80	9,00	9,14	0,14	1,56
80	10,00	10,17	0,17	1,70
80	11,00	11,23	0,23	2,09
80	12,00	12,25	0,25	2,08

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_n - t_m| = |1 - 1| = 0 \text{ s} \quad (3.13)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_n} \cdot 100 = \frac{0}{10} \cdot 100 = 0 \% \quad (3.14)$$

Tab. 17 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu 10 - 120 s

U	t _n	t _m	Δ	δ
[V]	[s]	[s]	[s]	[%]
80	10,00	10,01	0,01	0,10
80	20,00	20,06	0,06	0,30
80	30,00	30,15	0,15	0,50
80	40,00	40,44	0,44	1,10
80	50,00	50,61	0,61	1,22
80	60,00	60,56	0,56	0,93
80	70,00	71,00	1,00	1,43
80	80,00	81,07	1,07	1,34
80	90,00	91,22	1,22	1,36
80	100,00	101,72	1,72	1,72
80	110,00	111,87	1,87	1,70
80	120,00	122,39	2,39	1,99

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_n - t_m| = |10 - 10,01| = 0,01 \text{ s} \quad (3.15)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_n} \cdot 100 = \frac{0,01}{10} \cdot 100 = 0,10 \% \quad (3.16)$$

4. Zhodnocení naměřených výsledků

Čtvrtá kapitola se zabývá kontrolou charakteristik ochranného modulu SPCU 3C14.

Postupně byly proměřeny vypínací charakteristiky pro přepětový stupeň a to v režimu časově nezávislá charakteristika, časově závislá charakteristika A, časově závislá charakteristika B. Pro podpětový stupeň byla měřena pouze časově nezávislá charakteristika.

Pro časově nezávislou charakteristiku byly provedeny měření vypínacích časů od 0,01 do 100 s. Kontrolní časy vypnutí navoleny do tří rozsahů a to $0,1 \div 1$ s, $1 \div 10$ s a $10 \div 100$ s. Startovací napětí nastavené pomocí spínačů na 100 V, měřené napětí na 140 V. Postupně byly nastavovány na ochranném modulu teoretické vypínací časy a z laboratorních stopek odečítány naměřené časy. Poté byly vypočítány absolutní chyby, kde byla vzata jako skutečná hodnota z nastavené hodnoty vypnutí a naměřená hodnota byla zaznamenána laboratorními stopkami. Pomocí absolutní chyby se vypočítala relativní chyba. Relativní chyba se nacházela v rozmezí od 0 do 2,15 %. Výrobce udávaná přesnost vypínacího času je ± 2 % z nastavené hodnoty nebo ± 25 ms. Nepatrné odchylky relativní chyby mohly být způsobeny nepřesností stopek nebo zpoždění způsobené stykačem. Všechny naměřené rozsahy odpovídaly hodnotám, které udává výrobce ochrany.

U závislých charakteristik byl postup podobný jako při nezávislých charakteristikách. Kontrolovány byly vypínací křivky charakteristiky A a charakteristiky B. Pro každou charakteristiku byly naměřeny čtyři křivky a to pro 80 V, 90 V, 100 V a 110 V. V průběhu měření byly zaznamenány jednotlivé vypínací časy. Pak byly vypočítány teoretický čas vypnutí dle vzorce udávaného výrobcem ochrany. Následně byly vypočítány absolutní chyby z vypočítaných a naměřených hodnot, které byly zaznamenány laboratorními stopkami. Z absolutní chyby byly spočítány relativní chyby. Výrobce udávaná přesnost vypínacího času je ± 2 % z nastavené hodnoty nebo ± 25 ms. U závislé charakteristiky A se relativní chyba pohybovala od 0,05 až po 2,02 %. U závislé charakteristiky B se relativní chyba nacházela v rozmezí 0,07 až 2,01 %. Až na nepatrné odchylky se relativní chyba pohybovala v odpovídajících hodnotách od výrobce. Pro názornost byly sestrojeny z naměřených časů pro jednotlivé charakteristiky grafy.

Pro podpětový stupeň byl proměřen časově nezávislý pracovní režim. Hodnota startovacího napětí byla nastavena na 100 V, měřené napětí na 80 V. Následně byly měněny hodnoty teoretického vypínacího času od 10 do 120 s a s pomocí laboratorních stopek zaznamenán skutečný čas vypnutí. Následně byly vypočítány absolutní chyby z vypočítaných a naměřených hodnot, které byly zaznamenány laboratorními stopkami. Z absolutní chyby byly spočítány relativní chyby. Stejný postup byl použit i pro rozsah vypínacích časů od 1 do 12 s. Relativní chyba pro rozsah $1 \div 12$ s se pohybovala v rozsahu od 0 do 2,09 % a pro rozsah $10 \div 120$ s se pohybovala v rozsahu od 0,1 do 1,99 %. Výrobce udávaná tolerance vypínacího času ± 2 % z nastavené hodnoty odpovídala oběma kontrolovaným rozsahům hodnot.

Závěr

Cílem této bakalářské práce byla kontrola vypínacích charakteristik ochranného modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C. Dále jsou v práci popsány elektrické ochrany obecně.

V první kapitole byl vypracován teoretický rozbor ochrany a jištění, se zaměřením na nadproudové ochrany. Vypsání základních pojmů, které jsou v oboru ochrany využívány a vlastnosti, které jsou na ochrany kladeny.

V následující kapitole je uvedený popis a charakteristické vlastnosti digitální ochrany SPAU 330 C a jejího ochranného modulu SPCU 3C14. V této části jsou také popsány základní funkce digitální ochrany a její ovládání.

Třetí kapitola byla zaměřená na měření vypínacích charakteristik modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C. Byla provedena kontrola přepětového a podpětového stupně. Pro přepětový stupeň byly proměřeny časově nezávislé charakteristiky pro tři různé rozsahy. Následně byl pro přepětový stupeň proměřen i časově závislá charakteristika A a časově závislá charakteristika B. U obou časově závislých charakteristik byly naměřeny čtyři křivky.

Výrobce deklarované technické parametry ochrany SPAU 330 C se mohou lišit o $\pm 2\%$ z nastavené hodnoty nebo ± 25 ms. Po výpočtu relativní chyby δ , která byla určena z naměřených hodnot a hodnot nastavených, byly výsledky srovnány s tolerancí výrobcem. Relativní chyba u časově nezávislé charakteristiky se pohybovala v rozsahu od 0,1 až po 2,15 %. U časově závislé charakteristiky A se relativní chyba nacházela v rozmezí od 0,05 až po 2,02 % a pro časově závislé charakteristiky B od 0,07 do 2,01 %. Odchyly relativní chyby pravděpodobně byly způsobeny nepřesností stopek nebo zpoždění způsobené stykačem. Pro ověření této hypotézy by byla potřeba studie reprodukovatelnosti a opakovatelnosti měřidla (tzv. R&R studie), která umožňuje stanovit, kolik pozorované variability procesu vzniká v důsledku variability systému měření. Z důvodu nepatrné odchylky se však relativní chyba pravděpodobně pohybovala v odpovídajících hodnotách od výrobce.

Pro podpětový stupeň byl ověřen časově nezávislý pracovní režim. Kontrola časově nezávislé vypínací charakteristiky byla provedena pro dva různé rozsahy. Výrobce udávaná přesnost doby působení se může lišit o $\pm 2\%$ z nastavené hodnoty nebo ± 25 ms. Relativní chyba se pohybovala v rozmezí od 0 do 2,09 %. Odchyly relativní chyby byly způsobeny jako při předchozím měření nepřesností stopek nebo zpožděním stykače. Odchylka v tomto případě také vznikla pravděpodobně vinou nepřesnosti měření a zpoždění na straně stykače. Odchyly naměřených hodnot vypínacích charakteristik podpětového stupně odpovídají hodnotám udávané výrobcem.

Z vypočítaných a naměřených hodnot vypínacích charakteristik plyne, že ochrana vypíná v toleranci, kterou garantuje výrobce. Následnou kontrolou jednotlivých vypínacích charakteristik bylo ověřeno, že ochrana není nějak poškozená a její funkčnost je korektní.

Použitá literatura

- [1] JANÍČEK, František. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-2135-2.
- [2] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [3] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00630-9.
- [4] Firemní literatura a katalogy firmy ABB, s.r.o.
- [5] HALUZÍK, Evžen. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1986.